

LA SEGURIDAD FRENTE A INCENDIO EN TÚNELES

SAFETY AGAINST TUNNEL FIRE

ENRIQUE ALARCÓN ÁLVAREZ. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Secretario General de la Academia de Ingeniería de España

RESUMEN: El contenido de este artículo es la lección inaugural del curso 2002 de la Academia de Ingeniería presentada el pasado 29 de enero en la primera sesión de aquélla. Tras unas consideraciones iniciales sobre la seguridad de las infraestructuras se pasa revista a algunas ideas que pueden extraerse de los accidentes con fuego habidos hasta ahora, se comentan los ensayos controlados que han servido de base a la elaboración de la normativa y se enumeran brevemente los medios de control activo y pasivo en caso de incendio. Finalmente se comentan las recomendaciones del grupo de expertos de Naciones Unidas. Una exposición más detallada puede verse en (17)

PALABRAS CLAVE: TUNELES, SEGURIDAD, FUEGO, INFRAESTRUCTURAS

ABSTRACT: This paper is the written version of the Opening Lecture for year 2002 given by the author at the Spanish Academy of Engineering past 29th of January during its first session of the year. After some initial comments on the safety of infrastructures, some lessons learned from recent fire accidents are reviewed, the in-situ tests are described as well as their influence on international recommendations and the passive and active control means in case of fire are summarized. Finally the recommendations of the Group of Experts on Safety in Road Tunnels (UNECE) are briefly commented. A broader presentation can be seen in ref (17).

KEYWORDS: TUNNELS, SAFETY, FIRE, INFRASTRUCTURES

Quiero expresar en primer lugar el agradecimiento a mis compañeros de la Academia de Ingeniería por la confianza que han depositado en mí al encargarme la lección inaugural del curso que, tradicionalmente, se refiere a un tema de actualidad. Los terribles incendios en los túneles de Mont Blanc (Figura 1) y Tavern en 1999 pusieron de manifiesto la existencia de un problema potencial en las infraestructuras de transporte y por ello, cuando en agosto de 2001 se produjo la muerte de ocho personas en el túnel de Gleinalm, y en octubre la de otras 11 en el de San Gotardo, la Junta de Gobierno me propuso una reflexión sobre la seguridad en túneles como tema de esta charla.

Las infraestructuras son generalmente soluciones a problemas sociales y económicos que se traducen en el desarrollo y bienestar de la comunidad. Se crean como un acto de fe en el futuro y su éxito suele ser tal que crecen de forma continua (Figura 2) como se ha visto con las carreteras o los aeropuertos, permiten cambios sustanciales, como los

I would first like to express my gratitude to my colleagues at the Engineering Academy for the confidence they have shown by entrusting me with the inaugural lecture of the course and one which, traditionally, refers to a current issue. The terrible fires in the Mont Blanc (Figure 1) and Tavern tunnels in 1999 revealed the presence of a potential problem in transport infrastructures and when eight people died in the Gleinalm tunnel in August 2001 and a further 11 people perished in the St. Gotthard tunnel in October of the same year, the Board of Directors proposed that I consider tunnel safety as the subject of this lecture.

Infrastructures are generally solutions to social and economic problems and serve for the development and well-being of society. They are created as an act of faith in the future and are usually so successful that they then continue (Figure 2) to grow as may be seen in the case of roads or airports. Infrastructures enable substantial change, such as those seen in urban development or the construction of water supplies, and then become so essential to the point where any

que se observaron en el desarrollo de las ciudades tras la construcción de los abastecimientos de aguas, y se hacen imprescindibles hasta el punto de provocar la exasperación de los usuarios en casos de mal funcionamiento.

Precisamente que el accidente sea insoportable es una característica que muestra la doble faceta del quehacer ingenieril: por un lado el éxito de la solución es claro ya que su falta produce el sentimiento de sorpresa, pero por otro muestra los fallos de previsión y por tanto, la limitación de nuestros conocimientos.

Como en otras ramas de la ingeniería, las infraestructuras se construyen mediante la toma de decisiones sobre datos incompletos. Pero lo mismo podría decirse de cualquier acto de nuestra vida. "...todo es incierto salvo la muerte y los impuestos" decía Franklin un año antes de su fallecimiento. El riesgo es parte de nuestra forma de vivir, está en las raíces del saber, de nuestros valores y de nuestras emociones. Es decir, en la base de nuestra existencia.

Sin embargo, en las infraestructuras la percepción del riesgo por parte del usuario es distinta de la del ingeniero. Éste, intentando actuar de forma objetiva, pondera los beneficios frente a la peligrosidad y cuando juzga que el balance es positivo, acepta el envite.

El usuario por su lado, sólo ve que el número de afectados es generalmente grande y que, de ninguna forma él esperaba un fallo: el carácter habitual del uso le ha conducido a una percepción equivocada de seguridad absoluta.

El ingeniero se encuentra ahí con un doble factor de ponderación negativa: socialmente es más aceptable tener, por ejemplo, 50 víctimas en 50 accidentes individuales, que 50 víctimas en un solo accidente y además se considera más aceptable el riesgo si existe una cierta sensación de control individual del mismo, por muy falsa que aquélla sea.

En la literatura inglesa es famoso el caso del fumador empedernido, asiduo practicante del parapente, que sin embargo se negaba a viajar en avión.

Estos factores psicológicos ponen de manifiesto lo difícil de la objetividad en la fijación de lo que pueda ser considerado como riesgo "admisible".

Además el riesgo conscientemente aceptado suele ser tan sólo una pequeña parte del total. Un conocido tratadista



Figura 1/ Figure 1.

disruption of the same causes serious unrest among the users.

The unbearable nature of an accident is one that reveals the dual facets of an engineer's work: on the one hand the success of a solution is clear as any disruption to the same causes concern yet on the other hand reveals a lack of foresight and, subsequently, the limitations of our knowledge.

Infrastructures, as in all other engineering fields, are built on the basis of decisions taken with insufficient

information. However, the same may apply to any human activity and as Benjamin Franklin said just one year before his death "...nothing can be said to be certain, except death and taxes". Risk forms part of our daily lives, it lies at the root of all our knowledge, of our values and emotions. Risk, as such, is the essence of our being.

However, in infrastructures the user's perception of risk is different from that of the engineer's. The engineer attempts to act in an objective manner and by weighing up the advantages against the risk, and when the balance is seen to be favourable the engineer will then accept the challenge.

The user for his or her part only notices that the number of people affected is generally high but that they never expect something to happen to them. The constant use of the infrastructure having led to a totally false sense of security.

The engineer then encounters a double factor regarding this negative balance. It is socially more acceptable, say, to have 50 victims in 50 individual accidents than 50 deaths in just one accident and the risk is considered to be far more acceptable if one feels that one has a certain individual control over the same, no matter how false this presumption may be.

There is, of course the tale of the chain-smoking, hang-glider enthusiast who was afraid to fly in a plane!

These psychological factors reveal how difficult it is to remain objective when establishing what may be considered to be an "acceptable" risk.

Furthermore, the consciously accepted risk is usually only a small part of the total risk. A well-known essayist stated that after taking all the opportune measures both in design and in constructions roughly 15% of

Figura 2.
Noticia de
prensa
sobre nuevas
infraestructuras
/Figure 2.
News item on
new
infrastructures
(El Mundo, 26-
11- 2001)

-LAS OBRAS EMPEZARAN EN 2002-

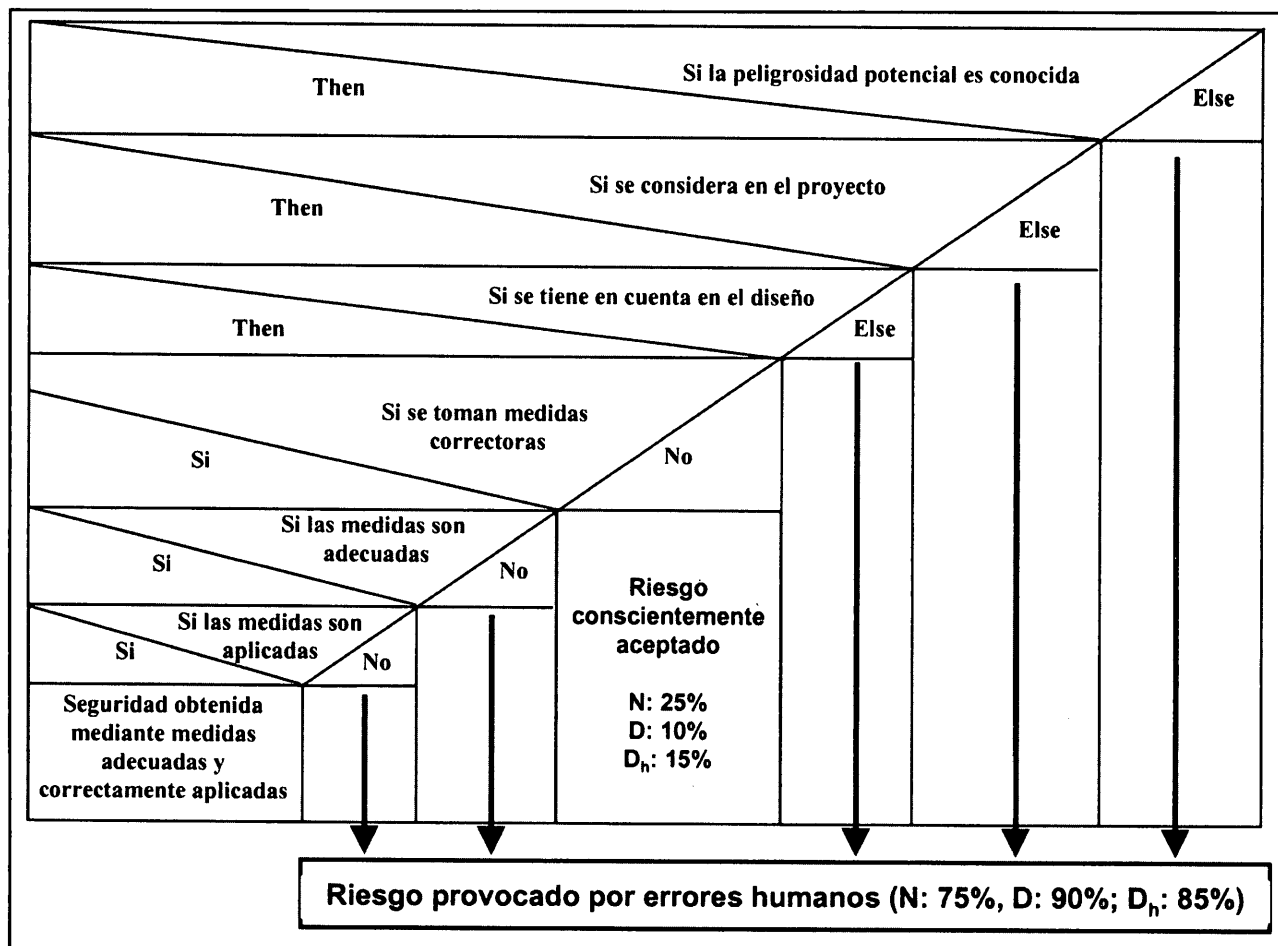
Iberpistas invertirá 15.000 millones en el tercer túnel de Guadarrama en la A-6

GRACIELA G. BARRAN
GUADARRAMA.- La ampliación de la carretera de A Coruña que concluyó en 1994 no ha servido para evitar los atascos en esta carretera, especialmente en fines de semana, puentes y vacaciones. Sólo le ha trasladado unos kilómetros. Esto se debe, en gran medida, al cuello de botella que suponen los túneles de Guadarrama con una capacidad limitada a 3.500 vehículos por hora, que, evidentemente, no puede sobrepasarse por razones de seguridad.

Por ello, Iberpistas, concesionaria de la autopista A-6, está dispuesta a invertir un total de 25.000 millones de pesetas en las obras de ampliación de la carretera de A Coruña, entre el Pinar de Las Rozas y el municipio segoviano de San Rafael, incluida la construcción de un tercer túnel bajo el Puerto de Los Leones, que sirva, tanto para paliar los atascos como para dotar a los existentes de mejores medidas de seguridad y vías de evacuación en caso de accidente. Iberpistas

costeará incluso las obras que sobrepasan los límites de su concesión, porque «no nos servirá de nada trasladar el atasco, hay que conseguir una solución global», explica José Antonio López Casas, consejero de Iberpistas de Autopistas, S. A. (Iberpistas).

Las obras se han programado en tres fases y la primera y más avanzada, acaba de concluir el periodo de exposición pública y alegaciones, abarca entre el enlace del Pinar de Las Rozas con la A-60 y Collado Villalba, un tramo que ya se incluyó en la ampliación de 1994, donde se construirán dos nuevos carriles por cada sentido. La segunda fase afectará al trayecto entre Collado Villalba y la salida del Valle de Los Cármenes. /Sigue en la página 4



(1) asegura que el riesgo residual tras tomar las medidas oportunas tanto en proyecto como en obra se reparte, grosso modo, al 15% para el conscientemente aceptado y el 85% correspondiente a los errores humanos o fallos de conocimiento (Figura 3).

Esto pone de manifiesto la importancia de impulsar tanto la investigación y el conocimiento en general como los planes de aseguramiento y gestión de la calidad, en paralelo con la doble faceta de nuestra labor: más científica en la etapa de proyecto y más gestora en las etapas constructiva y de explotación.

Debe remarcar además el carácter de prototipo de toda obra pública. En éstas el accidente cumple la labor de marcaje de los contornos del estado del arte, de la admisibilidad de los paradigmas aceptados y de su necesidad de renovación; la importancia del estudio de los accidentes estriba en su capacidad de motivación de la creatividad.

Es clásico el recordatorio al invento de la apertura en clave de los arcos gracias al cuasi accidente de Freyssinet (2) en el puente de Veudre sobre el Allier debido a un mal conocimiento de la ley de comportamiento del hormigón o al cambio en el diseño de los puentes colgados debido al accidente

the residual risk corresponded to consciously accepted risk and the remaining 85% to human errors or lack of knowledge (Figure 3).

These factors underline the importance that lies behind the promotion of research and general knowledge as well as assurance plans and quality management. This in parallel to the double factor of an engineer's work, which is more scientific in the design stage and more administrative in the construction and operation stages.

We should also refer to the prototypical nature of public works. Here an accident serves to underline the limitations of the state of the art, the admissibility of accepted models and the need to update the same. The importance of accident research lies in its capacity for creative motivation.

A classic example of this being the much cited case regarding prestressing and Freyssinet's (2) invention of opening the crowns of arches which was made in an attempt to save the Veudre bridge over the Allier due to insufficient knowledge regarding concrete behaviour. We could also refer to the change in design of suspension bridges due to the collapse of the Tacoma Narrows bridge caused by a lack of awareness of fluid-structure coupling

de Tacoma, motivado por un desconocimiento de los fenómenos de acoplamiento fluido-estructura y, como en el caso anterior, por llevar al límite tipologías o métodos de cálculo.

A veces el accidente que estimula la creatividad no tiene por qué ser tan dramático. El arquitecto Henry Vidal estaba preocupado por el hundimiento de los castillos de arena que construía en la playa mucho antes de conseguir las dimensiones que él deseaba.

Tras observar que con la incorporación de acículas de pino conseguía mejorar sus prestaciones, decidió cambiar la escala, sustituir las acículas por bandas resistentes a tracción y pasar al campo de las obras públicas con lo que luego se ha llamado "tierra armada".

Para entonces ya se conocía la teoría de "falseabilidad" de Popper que puede utilizarse perfectamente en ingeniería: ante un problema identificado se conjetura una solución y se deduce una hipótesis ensayable. Mediante una campaña de pruebas se intenta la refutación y finalmente, se escoge entre teorías diferentes.

En el caso de Vidal su conjetura de confinamiento local fue ensayada sistemáticamente en laboratorio alrededor de 1966 y finalmente aplicada de forma masiva en todo el mundo.

Puede decirse que el esquema anterior es precisamente el que se aplica tras los accidentes en ingeniería. De la observación de los mismos y de su intento de reproducción en modelos físicos o numéricos, con la interpretación correspondiente, se consigue llegar a un "paradigma actual" que se recoge en normas y códigos de buena práctica que reflejan el estado del conocimiento.

Este esquema es sabido y sus roles están relativamente bien distribuidos entre Universidades y Centros de Investigación, Empresas constructoras y Ministerios.

La **construcción de túneles** está íntimamente ligada al progreso de las infraestructuras y ha experimentado importantes renovaciones con el desarrollo industrial (3).

En esta charla el énfasis pretende ponerse no tanto en la seguridad estructural de la obra como en la del usuario y comentar la gestión del riesgo asumido durante la explotación (4, 5).

Desde este punto de vista aparecen diferencias sustanciales entre los variados tipos de túneles de tráfico. Así en los de carretera la circulación es generalmente aleatoria con muchos vehículos y pocos usuarios lo que hace que en situaciones de servicio imperen las condiciones de confort relativas a iluminación y ventilación mientras que en el caso de accidente con fuego sea fundamental el tipo de vehículos para fijar la potencia de cálculo del incendio.

En el caso de túneles urbanos la cuestión se complica con la posibilidad de retenciones, con las estrictas condiciones de geometría y por el uso continuo y repercusión inmediata de cualquier disfunción.

and, as in the previous case, through an attempt to extend structural types and calculation methods to the limit.

However an accident does not need to be quite so dramatic in order to stimulate creativity. While on holiday the architect, Henri Vidal, was intrigued that the sandcastles he built on the beach would always collapse long before they reached the required dimensions.

He found that by layering pine needles in the sand, he could then win all the beach competitions he entered. He then decided to change scale and replace these pine needles by tensile resistant bonds and establish the area of public works which has subsequently been referred to as "reinforcement-soil".

Popper's theory of "falsifiability" was already known at the time, this being one which could be perfectly applied to engineering. Here a conjectural solution is given to a known problem in order to obtain a testable hypothesis. The aim is to disprove the theory through a series of tests and then select from the different theories.

In the case of Vidal, his conjecture of local confinement was systematically tested in the laboratory around 1966 before finally being applied on a massive scale worldwide.

The preceding example perfectly corresponds to the situation which arises after engineering accidents. From the observation of these incidents and the attempt to reproduce the same on physical or numerical models, on making the corresponding interpretations one obtains the "current paradigm" or representative model which is then established in the standards and regulations of good practice which duly reflect the state of knowledge.

This arrangement is well known and the key players involved in the same are relatively well distributed among Universities and Research Centres, Construction Companies and Ministries.

Tunnel construction is intimately tied to the progress of infrastructures and has undergone important change as a result of industrial development (3).

In this lecture we shall attempt to place more emphasis on user safety than on the structural safety of the work and we shall comment on the risk management which is assumed during operation (4, 5).

In this regard there are substantial differences between the varying types of traffic tunnels. In road tunnels traffic is generally arbitrary with many vehicles and relatively few users which means that the conditions which should prevail in operative situations are those of comfort with regard to lighting and ventilation though in the case of an accident involving fire it is essential to consider the type of user vehicle in order to establish the potential strength of the fire.

In the case of urban road tunnels the question becomes somewhat more complicated due to the possibility of traffic congestion as a result of the confined dimensions of the

INCENDIO EN EL FUNICULAR DE KAPRUN 2000

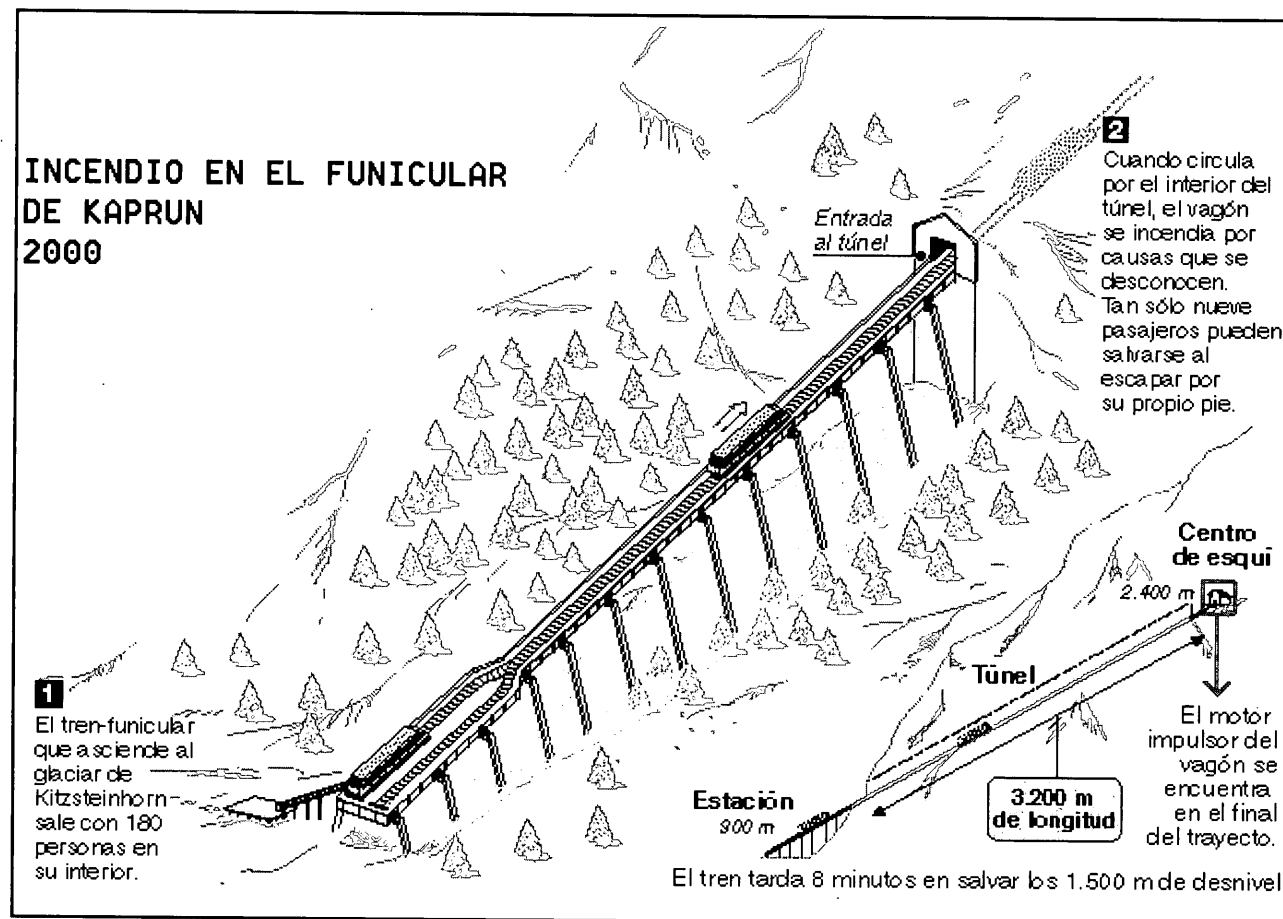


Figura 4.
Noticia de
prensa.
/Figure 4.
News item (EL
PAIS, 13-11-
2000).

Por contra en los túneles de ferrocarril el tráfico es regular pero a cambio, la salida masiva de viajeros en caso de accidente crea una problemática especial en cuanto a la evacuación. Si se trata de ferrocarriles metropolitanos ella se ve incrementada por la interconexión entre túneles y la posible extensión de humos.

Finalmente existen situaciones especiales como los "people movers" en aeropuertos o los funiculares con condiciones excepcionales de pendiente, en los que acontecimientos recientes han puesto también de manifiesto la peligrosidad del incendio (Figura 4).

En lo que sigue se harán consideraciones exclusivamente respecto a los túneles de carretera.

Si, como se dijo antes, del estudio de los accidentes se extraen conclusiones importantísimas y el accidente más grave es el incendio, conviene analizar los resultados de los mismos.

En los 38 incendios catalogados (6) se han producido 122 muertos, 70 de los cuales, es decir, el 57% del total, corresponden a los de Mont Blanc y Tauern de 1999 y Gleinalm y San Gotardo de 2001. (Número semejante al producido durante el éxodo vacacional de la pasada Semana Santa de este año).

tunnels and their constant use and the immediate repercussions of any malfunction.

In the case of railway tunnels the traffic is regular, however, in the case of an accident, the massive fleeing of passengers cause particular problems with regards to evacuation. In the case of metropolitan railways this problem is further aggravated by the interconnection of tunnels and the possible spreading of smoke.

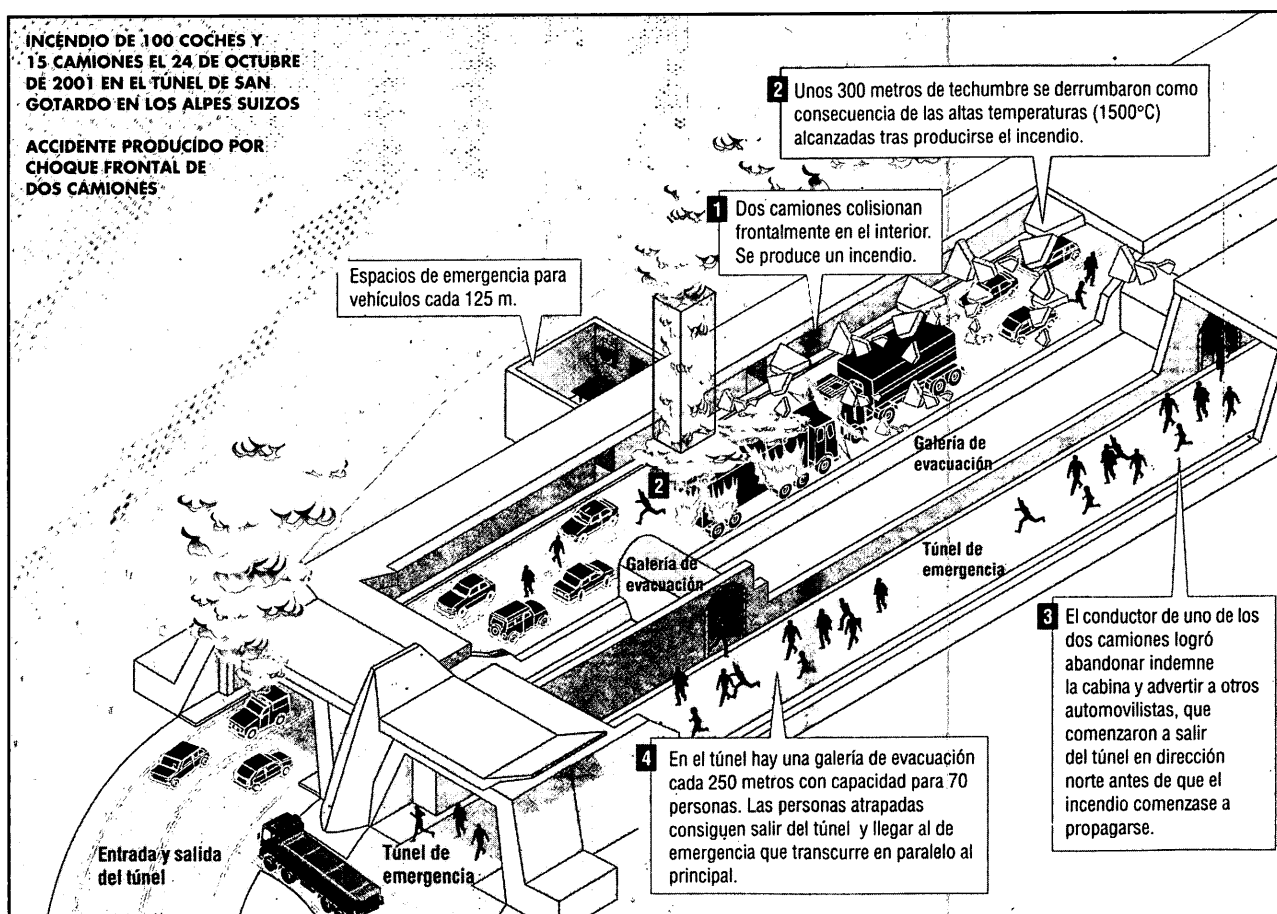
Finally, there are particular situations such as the "people movers" employed in airports or the funicular railways operating on very steep slopes and where recent events have also underlined the danger of fires (Figure 4).

This lecture will, however, focus entirely on road tunnels.

If very important conclusions may be gathered from the study of accidents, as we have already indicated, and when considering that fire is the most severe accident of all, it is then fitting to analyze the results of the same.

122 people have died in the 38 recorded tunnel fires (6), 70 of which, or 57% of the total, corresponding to the Mont Blanc and Tauern fires in 1999 and the Gleinalm and St. Gotthard fires in 2001. (Similar number to that occurring on Spanish roads over the easter week of this year).

Figura 5.
Noticia de
prensa/
Figure 5. News
item (El
Mundo, 26-
10-2001).



Generalmente, en todos los casos se observa la acumulación de circunstancias erróneas típicas de los accidentes graves: en proyecto, en construcción y en explotación, pero también fallos achacables a la normativa o a factores sociales.

En cuanto a **proyecto** probablemente el error más grave ha sido la subestimación del crecimiento del tráfico, que con la internacionalización del mercado, ha sufrido un desarrollo imparable.

Se observa así la existencia de túneles estrechos con circulación en doble sentido sometidos a tráficos desahogados. Por ejemplo Mont Blanc tiene una calzada con anchura de tan sólo 7 m. incluyendo los dos carriles.

El tráfico en San Gotardo era del orden de los 20.000 vehículos diarios con un porcentaje de camiones de alrededor del 40% circulando por una calzada de 7.8 m.

Su cierre y el retraso en la reapertura del Mont Blanc estuvieron provocando el paso de 3000 vehículos pesados diarios a través del túnel de San Bernardino que estaba previsto para 2000 vehículos diarios de todo tipo.

Cabe decir también que el 70% de las víctimas mortales se han producido en túneles de doble sentido de circulación.

In all these cases one generally observes an accumulation of errors: errors in design, construction and operation together with errors which may be attributed to regulations or social factors.

*With regards to **design** the most serious error is probably that of the underestimation of traffic growth. This having undergone a never ending expansion as a result of the internationalization of the market.*

It is subsequently possible to see narrow tunnels with very heavy bi-directional traffic. In the case of the Mont Blanc tunnel, this has a road width of just 7 m when including the two lanes.

The traffic passing through the 7.8 m wide St. Gotthard tunnel was around 20,000 vehicles a day, with roughly 40% of the traffic corresponding to lorries.

As a result of the closure and delayed reopening of the Mont Blanc tunnel, 3000 heavy goods vehicles had to pass through the St. Bernardino tunnel each day, this latter tunnel only being equipped to handle 2000 vehicles of any class each day.

It should also be noted that 70% of tunnel deaths have occurred in bi-directional tunnels.

En muchos casos la falta de rutas de escape es un reflejo de la confianza del proyectista en el habitualmente limitado alcance de los accidentes. Sin embargo, el salvamento de la gran mayoría de los afectados en el incendio de San Gotardo (Figura 5) del pasado octubre fue posible gracias a la existencia de galerías de evacuación hasta un túnel de emergencia, frente a la fallida teoría de los refugios presurizados pero sin salida de Mont Blanc.

Esta última solución que fue paradigmática en la ingeniería francesa de túneles ha quedado completamente arrumbada y lo mismo cabe decir del respeto reverencial a los sistemas de ventilación transversal o semitransversal puros.

En Tauern el sistema transversal puro con pequeñas boquillas de aspiración repartidas a distancias cortas sólo fue capaz de mantener la estratificación de la capa de humos durante 15 minutos (y en circunstancias muy favorables). En su reconstrucción se han sustituido aquéllas por exutorios de unos 5 m.² colocados aproximadamente a 50 m. de distancia.

Por otro lado el control del tiro natural, fundamental en la lucha contra el incendio, sólo es posible en estos sistemas mediante programas de soplado y aspiración alternada en diferentes cantones, lo que a veces no se puede conseguir.

Por ello en el Mont Blanc la ventilación semitransversal se ha completado con un sistema de aceleradores longitudinales con los que se intentará reducir el movimiento del aire en situaciones extremas (Figura 6).

Finalmente, por lo que se refiere a proyecto, se han observado daños importantes a las estructuras resistentes que no han sido, generalmente, protegidas frente al incendio. (En San Gotardo, por ejemplo, el espesor del falso techo era inferior a 10 cm).

El fallo más importante que se suele producir en la etapa de **construcción** se refiere a la falta de ensayos globales del sistema instalaciones-obra civil.

Aunque en ingeniería de túneles existe una tradición generalizada de control continuo de suministros y obra, el buen acoplamiento entre la obra civil y las máquinas que se le añaden se da por supuesto o se reduce algunas veces a controles sumarios y se está tentado a menudo de no comprobar que el conjunto formado por máquinas, conductos y sistemas de control ofrece realmente las prestaciones previstas en proyecto.

Esto sucede en toda Europa y sólo en los últimos años se está desarrollando una cultura de ensayos globales in-situ que permitan medir e interpretar la estanqueidad y el comportamiento aerodinámico del conjunto con simulaciones que no necesariamente han de ser llevadas a cabo con fuego real.

In many cases the lack of escape routes is a reflection of the designer's trust in the general infrequency of accidents. However, in the St. Gotthard (Figure 5) fire last October, the majority of those trapped inside were able to escape due to the presence of escape routes leading to an emergency tunnel. This factor being in stark contrast to the mistaken theory of the pressurized emergency shelters with no exit employed in the Mont Blanc tunnel.

These emergency shelters, which were so representative of French engineering, have since been totally discarded and the same may be said of the reverential respect for fully transverse or semi-transverse ventilation systems.

In Tauern the fully transverse system with small, closely spaced, inlet vents, was only capable of stratifying the smoke layer for 15 minutes (under very favourable conditions). When the tunnel was rebuilt this system was replaced by extraction dampers of around 5 m², which were set every 50m.

The control of the natural air draught, which is essential in fire-fighting, is only possible in these systems when using alternate blow and draw programmes and this is not always possible to achieve.

As such, the semi transverse ventilation in the Mont Blanc tunnel has been supplemented by a longitudinal ventilation system which aims to reduce the airflow under extreme conditions (Figure 6).

As a final comment on the design aspect, it has been noted that in tunnel fires serious damage has been caused to the resisting structure and that this has generally been the result of inadequate fire protection. (For instance, the false ceiling in the St. Gotthard tunnel was less than 10 cm thick).

*In the **construction** stage, the most important error refers to the lack of testing on the civil work-installation system.*

In tunnel engineering there is a long-standing tradition of continuous construction and supply control. However, the correct unison between the civil work and the equipment employed in the same is frequently taken for granted or is, alternatively, reflected by superficial controls. This situation frequently implies that no verification is made to ensure that

the entire assembly of equipment, ductwork and control systems really offers the effectiveness established in the design.

This happens throughout Europe and it is only recently that in-situ testing has been developed in order to measure and interpret the aerodynamic behaviour and tightness of the entire assembly using

Figura 6.
Aceleradores en
clave túnel de
Mont
Blanc/ **Figure 6.**
Accelerators in
the Mont Blanc
tunnel.



Puesto que se trata de ensayos caros y largos este punto debería ser tenido en cuenta en las estimaciones de costes y plazos de las obras.

También se observan errores llamativos en la fase de **explotación**. Como en otro tipo de accidentes (recuérdense los casos de Chernobyl o Three Mile Island) con el uso habitual y con la solución de pequeños problemas se produce un estado de confianza excesiva en la controlabilidad de los sucesos y una relajación del cumplimiento de las normas y procedimientos establecidos.

A veces ello está combinado con acciones que pretenden ser heroicas como la del equipo francés de extinción que se introdujo directamente en el Mont Blanc sin pasar por el puesto de mando de gestión del accidente como estaba establecido, dando lugar a la muerte de su responsable y a uno de los rescates más difíciles de todo el incendio.

En otros casos son objetivos contradictorios los que pesan en el ánimo de personas que en segundos deben tomar decisiones muy complicadas; así en el mismo incendio, cabe citar el caso del controlador italiano que en lugar de ordenar la aspiración de humo, como estaba reglamentado, utilizó el conducto de extracción para inyectar más aire fresco, con lo que sabía que salvaba a las personas atrapadas en la parte italiana del túnel a costa de complicar la situación en la parte francesa.

Ajustarse a los procedimientos establecidos, eliminar duplicidades en el control (aunque se trate de túneles internacionales) y rebajar la responsabilidad del operario son factores importantísimos.

Por ello es fundamental el análisis de escenarios que permitan preprogramar las pautas de actuación según las condiciones de contrapresión atmosférica, tráfico, estado previo de los ventiladores, etc.

Es el camino seguido para los túneles de Somport y Envalira donde se ha hecho un amplísimo estudio morfológico de casos que han sido incorporados a la gestión automatizada del accidente. (7, 8).

Aunque ya se ha hablado de los fallos de coordinación cuando existen controles múltiples cabe indicar también los relacionados con la colaboración de los equipos de extinción de incendios de las localidades cercanas. Las experiencias habidas indican que la llegada no se produce antes de 20 minutos.

Es decir, son fundamentales los dispositivos de **auto-defensa** del túnel para la etapa de salvamento de las personas que, como se dijo, sólo es efectiva en los primeros 15 minutos.

La llegada de los equipos de extinción abre una segunda fase: la reducción de los daños a la propia infraestructura y el control del fuego, etapa que puede durar varios días como se vio en los casos de Mont Blanc y San Gotardo. (Figura 7).

simulations which do not necessarily have to be carried out under real fire conditions.

As these tests are very time-consuming and expensive this item should be taken into account in the tender estimates and in the construction periods.

*Notable errors may also be observed in the **operation** stage. As in other accidents (one only has to recall the cases of Chernobyl or Three mile Island) constant use and the overcoming of small problems leads to overconfidence regarding the control of events and a certain relaxation of established regulations and procedures.*

On occasions this is combined with actions of a mistakenly heroic nature such as that carried out by the French fire fighting unit who directly entered the Mont Blanc tunnel without passing through the accident control post as was established. This subsequently led to the death of the unit commander and one of the most hazardous rescue operations of the entire fire.

In these cases it is necessary to take split second decisions and this sometimes leads to very contradictory results. This being the case of the Italian controller who, instead of ordering the intake of smoke as regulated, employed the extractor conduit to inject more fresh air with the ensuing effect that this saved the people trapped in the Italian side of the tunnel but seriously complicated the situation on the French side.

The observance of established procedures, the elimination of dual control (even in cross-border tunnels) and a reduction in the operator's responsibilities all serve as very important factors.

As such, it is essential to analyze those circumstances in order to establish guidelines regarding action in accordance with the atmospheric counter-pressure, traffic, prior state of the fans, etc.

This is the method followed in the Somport and Envalira tunnels and where an extensive morphological study has been carried out of cases which have been incorporated within automated accident management. (7, 8).

While we have already spoken about the coordination errors that may arise when there are multiple controls, it is also necessary to indicate those errors related to the collaboration of local fire-fighting teams. Here, experience has shown that no fire-fighting unit can arrive on the scene within less than 20 minutes.

This then implies that the tunnel's own fire detection and control mechanisms are absolutely essential to save lives over the initial 15 minutes after the outbreak of the fire.

A second stage then arises on the arrival of the fire-fighting teams, this being aimed at: the limitation of damage to the tunnel infrastructure and fire control.

This stage may well last several days as was seen in the cases of the Mont Blanc and St. Gotthard fires. (Figure 7).

Finalmente un tema importantísimo de la explotación es el control de tráfico. En alrededor del 95% de los casos la causa del accidente recae sobre los vehículos pesados, con o sin mercancías peligrosas.

No debe olvidarse la evolución hacia el gigantismo de los camiones y en particular, la importancia que empiezan a tener los depósitos auxiliares de combustible de repuesto que, transforman cualquier vehículo de gran tonelaje en un objeto de alto riesgo.

Puesto que muchas de las lecciones aprendidas son recientes está claro que estamos ante un déficit de **Normativa**. Tan sólo PIARC, dado su carácter de organismo multinacional independiente, ha mantenido una actividad publicista continuada.

En España existen proyectos en marcha impulsados por el Ministerio de Fomento tanto para Carreteras como para Ferrocarriles intentando desarrollar la Instrucción de Obras Subterráneas.

Tras lo dicho más arriba sería igualmente recomendable la elaboración de una normativa sobre ensayos de conjunto previos a la puesta en marcha de la obra.

Para finalizar este apartado no pueden dejarse de lado los **aspectos psicológicos** tanto de los equipos de rescate como del propio comportamiento del viajero. (9).

Respecto a los primeros ya se ha comentado la tendencia a despreciar los procedimientos establecidos.

En cuanto a los usuarios, son características en todos los accidentes la falta de respeto a las señales de limitación de velocidad e incluso a las de cierre de túnel con semáforo en rojo.

En el incendio del Mont Blanc se observó que muchos vehículos entraron en el túnel con la señal de prohibido el paso encendida.

Ello ha llevado en la nueva reconstrucción a la colocación de semi barreras dentro del túnel y al establecimiento de un fuerte control de la velocidad con penalización inmediata a los vehículos infractores.

Por otro lado un factor importantísimo es la querencia del viajero a no abandonar su vehículo y, cuando ve el humo, considerarse equivocadamente seguro en su interior, lo que lleva a su muerte por asfixia.

En el incendio de Tavern partió del reducido número de muertes fue seguramente debido a la permanencia en la memoria de los usuarios del accidente del Mont Blanc ocurrido dos meses antes, lo que les impulsó a escapar de forma inmediata.



Figura 7. El fuego de San Gotardo horas después del accidente / Figure 7. The St. Gotthard tunnel fire several hours after the accident.

Finally, a very important subject regarding tunnel operation is that of traffic control. In around 95% of cases the accident was caused by heavy goods vehicles (HGVs) carrying dangerous or non-dangerous loads.

The development towards enormous HGVs and the need to employ auxiliary fuel tanks, transforms any HGV into a high risk object.

As many lessons have been learned comparatively recently, there is a clear lack

of corresponding legislation in this regard. The only body to constantly update its reports has been the PIARC, and this given its independent status as a world road organization.

There are many projects in the pipeline in Spain that have been instigated by the Ministry of Public Works both with regards to Roads and Railways and attempts are being made to develop a Code on Underground Works.

In the light of our preceding comments it would be equally recommendable to prepare standards regarding preliminary global testing prior to construction work.

This section cannot conclude without referring to the psychological aspects concerning both the fire-fighting teams and the behaviour of drivers and passengers. (9).

With regards to the former, we have already commented on the tendency to disregard established procedures.

In terms of the tunnel users, all the accidents reveal a lack of regard for speed restriction signs and even those indicating the closure of the tunnel such as a red traffic light.

In the Mont Blanc fire, many vehicles entered the tunnel when the no-entry light was already on.

This has subsequently led to the realignment or installation of half-barriers within the tunnel and to the introduction of very strict speed controls with the immediate fining of offending vehicles.

Another important factor is that drivers tend to remain in their vehicles and on seeing smoke mistakenly feel that they are safer inside the vehicle, this then leading to death by asphyxiation.

In the Tavern fire the reduced number of deaths was undoubtedly caused by the fact that the Mont Blanc accident, which had occurred just two months earlier, was still fresh in the memory of the users and this forced them to escape immediately.

Sin embargo en el incendio de San Gotardo del pasado Octubre de los 10 muertos habidos (si se exceptúa al conductor del camión que provocó el accidente), 7 murieron sin salir de sus vehículos y el resto asfixiado cuando intentaban alcanzar la salida de escape al perder un tiempo precioso en la decisión de abandonar el coche.

Sería deseable pues una campaña de educación del usuario que podría incluirse en la obtención de la licencia de conducción así como el incremento de la creciente actividad que Protección Civil está desarrollando para la preparación de la población.

La etapa siguiente al análisis de los accidentes incluye el desarrollo de **modelos** que permitan estudiar el comportamiento de las soluciones que hayan podido idearse para subsanar las deficiencias observadas.

De cara al sistema de ventilación tiene una especial tradición el uso de modelos físicos a escala reducida en los que se intenta mantener las leyes de la semejanza. (10).

A efectos de proyecto es notable la evolución habida con los métodos numéricos en computadora que han permitido utilizar de forma rutinaria los procedimientos monodimensionales de régimen transitorio en redes de tuberías y desarrollar nuevos modelos zonales o tridimensionales que con apoyo en el método de los volúmenes finitos permiten estudiar con un cierto grado de finura fenómenos locales mediante acoplamiento con leyes de combustión muy precisas. (Figura 8).

However, in the St. Gotthard fire last October, of the 10 deaths (when excluding the lorry driver who caused the accident) 7 were killed by remaining in their vehicles and the remainder died by asphyxia when trying to reach the escape exit and as a result of losing precious time when deciding whether to leave their vehicles.

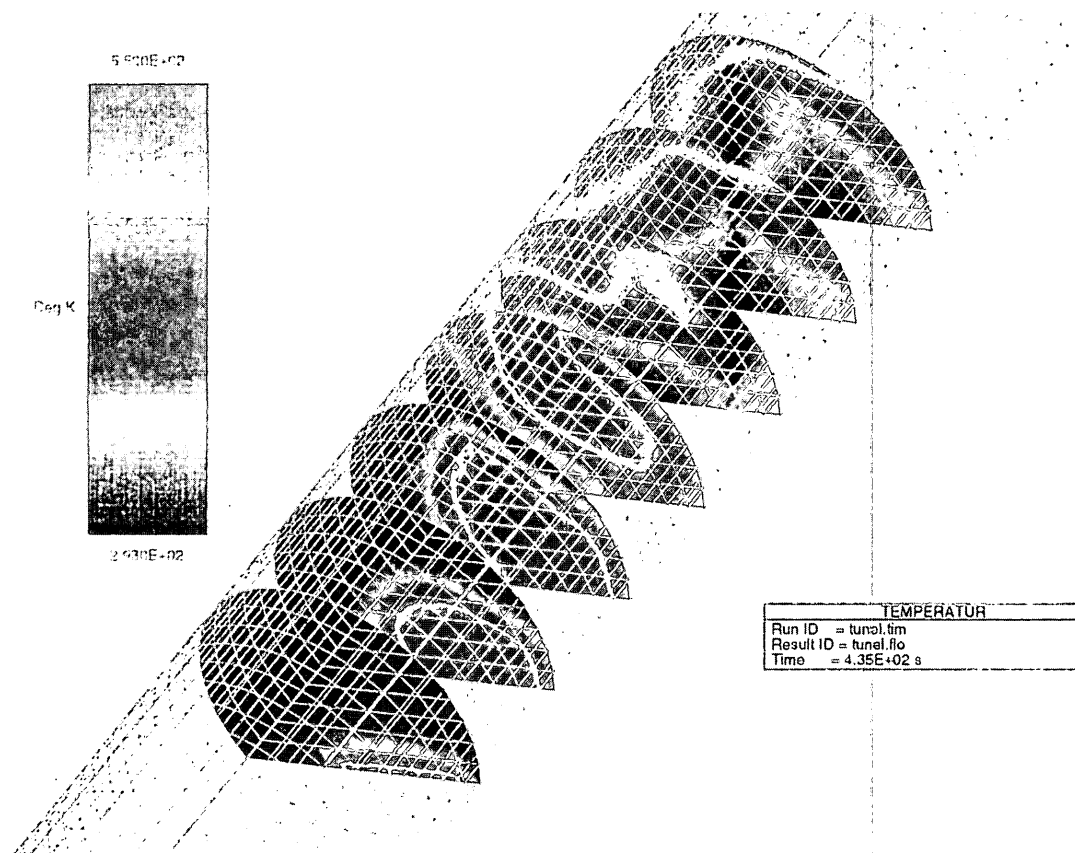
It would be recommendable to carry out a tunnel safety campaign for road users which could even be included within the driving test as part of the ongoing activities prepared by the Civil Protection association to increase driver awareness and responsibility.

The following stage of this accident analysis considers the development of models which then allow the study of possible solutions to correct the anomalies observed.

With regards to the ventilation system, it is customary to employ physical or scale **models** and an attempt is made to maintain the similarity laws. (10).

In terms of design there has been a considerable development in computer-aided numerical methods which has allowed the routine use of one-dimensional flow system procedures in pipework and the development of new zonal or three-dimensional models which, with the aid of the finite volume method, enable the fairly precise study of local occurrences in association with very exact combustion laws. (Figure 8).

Figura 8.
Modelo de
incendio en el
túnel del
Negrón.
Temperaturas
en la zona del
incendio 7
minutos tras
su comienzo/
Figure 8. Fire
model in the
Negrón tunnel.
Temperatures
in the area of
fire 7
immediately
after it had
started.



Los modelos numéricos juegan un importante papel no sólo en el proceso de dimensionamiento aerodinámico sino en el análisis paramétrico de las soluciones y en el establecimiento de las pautas de actuación en caso de accidente acoplando modelos de tráfico con los de fluido, combustión, ventiladores, etc.

Como modelos físicos a escala real cabría interpretar también los ensayos realizados en obras existentes o los que han tenido lugar en túneles abandonados.

En España son conocidos los llevados a cabo en los túneles de El Padrún (11) donde se puso fuego a un par de vehículos, los de Lorca en que el fuego se materializó gracias a un quemador de heptano y los organizados en Huesca en el marco de los esfuerzos de Protección Civil antes citados.

A escala mundial (12, 13) son dignos de citar los ensayos en el Memorial tunnel (cerca de Boston) donde se analizaron diferentes sistemas de ventilación, se calibró una fórmula para evitar la recirculación de humos y se estableció una base de datos contra la que contrastar los modelos numéricos. (Figura 9).

Aunque los ensayos con fuego real en condiciones controladas son imprescindibles para el progreso del conocimiento, su utilización de forma rutinaria en obras normales es discutible debido a la dificultad de control de parámetros que, como el tiro natural, son definitivos a la hora de establecer el régimen de ventilación.

Es mucho más importante garantizar mediante ensayos que el funcionamiento conjunto del sistema detectores-control-obra civil-instalaciones es el previsto aunque sea innegable el efecto motivador y educativo que los fuegos simulados tienen sobre los equipos de extinción de incendios de las poblaciones vecinas y sobre el público en general a través de la relevancia que le suelen otorgar los medios de comunicación.

El progreso del conocimiento que se está consiguiendo por todos estos medios permitirá disponer de una herramienta racional en la toma de decisiones sobre otro problema candente: el **reacondicionamiento** de los túneles existentes para dotarlos de niveles de seguridad semejantes a los de los túneles nuevos. Es el camino tomado por diferentes administraciones como el Excmo. Ayuntamiento de Madrid o el Ministerio de Fomento. (Figura 10).



Figura 9.
Instalaciones de ensayo en el Memorial Tunnel/
Figure 9. Test installations in the Memorial Tunnel.

Numerical models play an important role in the aerodynamic dimensioning process as well as in the parametric analysis of solutions and the establishment of guidelines regarding response in the case of an accident when employed in association with models of traffic, flow, combustion and ventilation, etc.

With regards to full-scale models it is possible to refer to the tests carried out on existing works or

those which have taken place in abandoned tunnels.

In this context, we may refer to the tests carried out in Spain in the El Padrún tunnels (11) where two vehicles were set alight, or those carried out in Lorca where the fire was generated by a heptane burner and the tests organized in Huesca under the auspices of the Civil Protection.

On an international scale (12, 13), mention should be made of the tests carried out in the Memorial Tunnel (near Boston) where different ventilation systems have been analyzed. Here the emphasis was on providing guidelines regarding the prevention of smoke recirculation or "backflow" and a data base was established and comparison made with the numerical models. (Figure 9).

While real fire testing under controlled conditions is essential for the advancement of our knowledge, its routine use in normal works is somewhat debatable due to the difficulty of controlling the parameters which, as in the case of the natural draught, are absolutely essential when defining the ventilation system to be employed.

It is far more important that tests be oriented towards guaranteeing that the joint operation of the detection-control-civil work-installation system meets design requirements though it is also true that these simulated fires undoubtedly serve to motivate and inform local fire fighting forces and the public in general due to the relevance that these tests are given in the media.

The advanced knowledge obtained by all these means then provides a rational basis for taking decisions regarding another burning question: that of the **retrofitting** of existing tunnels in order to provide them with the same safety levels as new tunnels. This has been the line followed by various administrations and organizations such as the Madrid City Council and the Ministry of Public Works. (Figure 10).

El reacondicionamiento presenta problemas técnicos pero sobre todo, su dificultad radica en la asignación racional de los limitados recursos disponibles.

Desde el punto de vista puramente técnico, se puede organizar una lista de prelación basada en estudios organizados en tres etapas.

La primera, que pudiera llamarse cribado previo, consiste en la clasificación mediante un sistema experto que otorga una ordenación numérica a los aspectos de peligrosidad del accidente, vulnerabilidad de la estructura, importancia de la obra (medida por los costes de reconstrucción, los perjuicios provocados por su puesta fuera de servicio, etc).

De esta clasificación salen obras claramente seguras, obras claramente inseguras que necesitan proyectos individuales detallados para calibrar su importancia y, finalmente, casos borrosos a los que podría aplicarse un estudio con modelos numéricos simplificados que permitiera su clasificación ordenada en la lista de prelación.

Otra vez se está ante un campo nuevo en que la ingeniería debe ofrecer a los responsables políticos criterios profesionales e incrementar el acervo común con el desarrollo de una guía, norma o recomendación que permita unificar criterios y exigencias para garantizar la competencia equitativa y la homogeneidad de la seguridad en las soluciones que se ofrecen.

La influencia de las condiciones de seguridad en el diseño conduce indefectiblemente a la exigencia de un planteamiento holístico de la solución.

Es el momento de considerar el túnel como un sistema global, un artefacto en que las condiciones de seguridad de explotación obligan a un control activo y pasivo de un conjunto muy complejo de sistemas.

En la tabla 1 se han intentado resumir algunos de los equipos que dependiendo de la importancia de la obra, pueden encontrarse en túneles actuales (14, 15). En circunstancias excepcionales como en Mont Blanc, se añaden todavía otros, como es un puesto permanente de bomberos en el centro del túnel o un extraordinario vehículo de dos cabezas especialmente

OBRAS / CUALQUIER INCIDENCIA EN SU INTERIOR SE CONOCERÁ INMEDIATAMENTE

Los 49 túneles de la capital estarán conectados a un único centro de control y seguridad

Viene de la página 1

El propósito de los responsables de los servicios de seguridad y obras es conocer de forma inmediata cualquier incidencia que se produzca dentro de los túneles y canalizar y centralizar las posibles actuaciones de emergencia. El centro de control estará directamente conectado con el Cuerpo Nacional de Policía, la Policía Municipal, Bomberos del Ayuntamiento, el Área de Medio Ambiente, Protección Civil y Movilidad Urbana.

A través del vídeo, 8.000 ordenadores de la Corporación tendrán acceso a toda la información que den las cámaras y micrófonos instalados en los túneles.

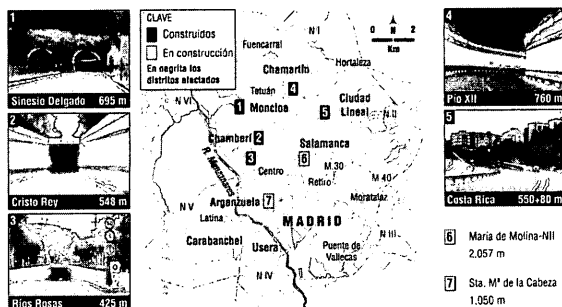
Fernando Catalá explicó que este sistema no mejorará los tiempos de respuesta de los servicios municipales, «pero sí sabremos de inmediato de qué incidente se trata, sin esperar a que lleguen los servicios de emergencia y evitando que se acumule tráfico en la entrada del túnel».

Catalá explicó que los primeros túneles que contarán con este sistema, que costará casi 10 millones de euros (1.600 millones de pesetas) serán los más largos: Pto XII-paseo de la Castellana (760 metros), Sinesio Delgado (695 metros) y Costa Rica (630 metros). Los dos más grandes de la ciudad, que se encuentran en construcción, contarán ya con este sistema, por lo que no entran en la actual adjudicación. Son María de Molina, que tendrá más de dos kilómetros, y Santa María de la Cabeza (1.050 metros).

Estos dos últimos contarán

Más seguridad para los túneles

Un sistema de control de los 49 túneles de la ciudad de Madrid permitirá tener información de cualquier incidencia las 24 horas.



Principales medidas en el túnel de María de Molina



FUENTE: Ayuntamiento de Madrid.

además con control de accesos y galibos, postes de auxilio, megafonía, señalización variable exterior e interior, alumbrado de emergencia, detección y extinc-

ción de incendios y seis y dos salidas de emergencia, respectivamente.

La propuesta seleccionada inicialmente ha sido presentada

por Dragados Obras y Proyectos y será llevada al Pleno de esta misma semana para que en diciembre se apruebe definitivamente.

Figura 10. Reacondicionamiento de túneles en Madrid. Noticia de prensa/ Figura 10. Retrofitting of tunnels in Madrid. news items (El Mundo 21 -11- 2001).

detailed individual projects to establish the importance of the same and, finally, those borderline cases which may then require study through simplified numerical models in order to establish their classification within the list of priorities.

Once again this is a new area in which engineers have to offer professional criteria to the politicians and increase common agreement through the development of a guide, code or recommendations which would then unify criteria and requirements in order to guarantee an equal footing and uniform safety considerations in the tender solutions presented.

The influence of safety conditions in design inevitably leads to the establishment of a holistic approach to the solution.

The tunnel should now be considered as a comprehensive system, as an construction in which the operating safety conditions demand an active and passive control of a very complex combination of systems.

Table 1 gives an overview of some of the equipment which may be found in current tunnels depending on the importance of the work (14, 15). In exceptional circumstances, such as in the Mont Blanc tunnel, even more provisions are made, such as the permanent fire-station in the centre of the tunnel or the extraordinary fire truck with

Retrofitting presents certain technical problems though the main difficulty of this lies in the rational allocation of the limited resources available.

From a purely technical point of view a list of priorities can be drawn up on the basis of three-stage studies.

The first of these stages may be referred to as the screening process and consists of the numerical classification by an expert system of aspects such as the danger of the accident, the vulnerability of the structure, the importance of the work (in terms of reconstruction costs, the disturbance caused by closing the work, etc.).

From this classification it is then possible to establish those works that are clearly safe, those that are clearly unsafe and which need

TABLA 1/TABLE 1

PASIVOS/PASSIVE:

Obra civil/Civil work

- Apartados y galerías de cambio de sentido/Lay-bys and cross-connections or galleries for U-turns
- Nichos de seguridad y nichos de incendio/Safety and fire niches
- Refugios/Shelters
- Galerías de evacuación/Escape routes
- Depósitos y red contraincendios/Tanks and fire-extinguishing systems

Instalaciones/Installations

- BIES/BIES
- Redes de agua y caces de recogida/Water and drainage networks
- Alimentación eléctrica múltiple y equipos de reserva/Multiple electricity feed and stand-by equipment
- Iluminación/Lighting
- Señalización con paneles fijos y variables/Fixed panel and variable signs
- Semáforos y semibarreras/Traffic lights and half barriers
- Redes de comunicación/Communication networks

INFORMATIVOS/COMPUTERIZED EQUIPMENT

- Detectores de CO, NOx y opacímetros/CO, NOx detectors and plate testers
- Anemómetros/Anemometers
- Teléfonos/Telephones
- Cámaras de vídeo y DAI/Video cameras and IAD
- Radio/Radio
- Localización termométrica/Heat location devices

ACTIVOS/ACTIVE

- Ventilación/Ventilation
- Exutorios motorizados/Motorized extractors
- Rociadores/Sprinklers
- Vehículos de evacuación/Escape vehicles
- Vehículos de lucha contra el fuego/Fire-fighting vehicles

CONTROL/CONTROL

- Plataforma informática/Computer platform
- Automatas en túnel/Automatons in tunnel

diseñado para la lucha contra el incendio en las restringidas condiciones geométricas de los túneles. (Figura 11).

La comercialización de la fibra óptica ha permitido el establecimiento de redes de comunicación muy fiables y los progresos en la velocidad de tratamiento y en la capacidad de las computadoras han llevado a la multiplicación de las señales de control y a la posibilidad de su tratamiento armónico para la detección del incendio y la consiguiente selección de una pauta de actuación que se aplica automáticamente si en un intervalo de pocos minutos el operador no ha contestado a las alarmas y propuestas que ha transmitido el sistema.

La figura 12 que corresponde al sistema previsto para el túnel de Som-

Figura 11. Vehículo JANUS con base en Mont Blanc/ Figure 11. Janus Fire Truck based at the Mont Blanc tunnel.



a cab at each end which was specially designed for fighting fires within the confined space of a tunnel. (Figure 11).

The commercialization of optic fibre has enabled the installation of very reliable communication networks and the advanced processing speeds and capacities of computers has led to the multiplication of control signals and the possibility of harmonic processing of these signals in fire detection. This then allows selective action which may be automatically applied in a question of minutes in the case that the operator has not responded to the alarms and indications of the system.

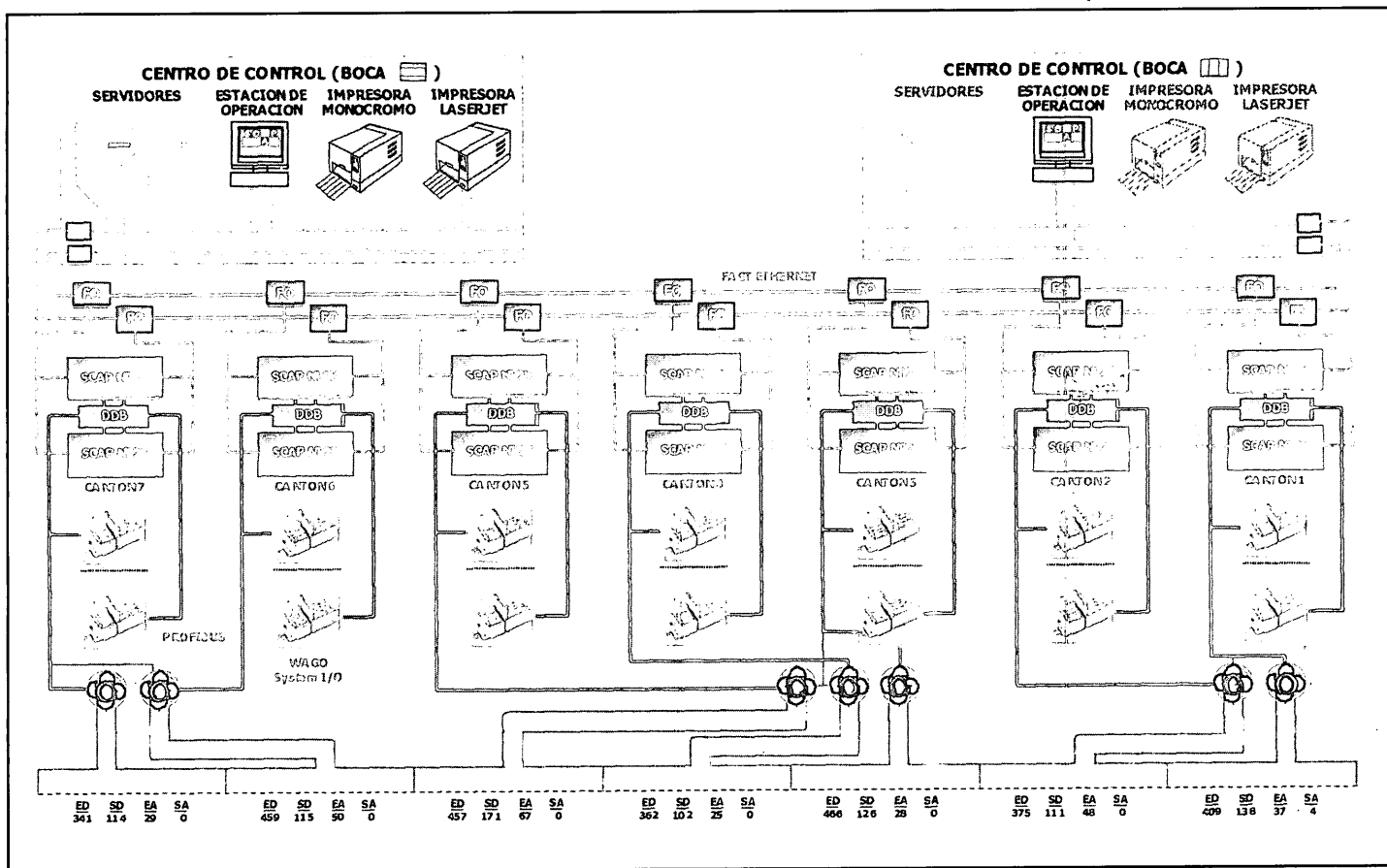


Figura 12.
Arquitectura
del sistema
de control de
Somport/
Figure 12.
Control
system
architecture
at the
Somport
Tunnel.

port muestra la riqueza de posibilidades de que se dispone actualmente.

Es especialmente importante el uso del tratamiento de imágenes para la detección automática de incidentes, que permite reconocer paradas, adelantamientos, excesos de velocidad, caída de bultos, etc. así como el desarrollo de sistemas de detección térmica de tipo fibroláser para situar el incendio con gran precisión. (Figura 13).

Con ello se cumple la necesidad de autodefensa y respuesta rápida a la fase inicial tras el accidente cuyo objetivo es el salvamento y evacuación de las personas.

En la segunda fase de extinción del incendio son fundamentales los recursos ajenos de parques de bomberos e incluso instalaciones complementarias que, como los rociadores (contraindicados en la primera fase), contribuyen a reducir las temperaturas en el interior del túnel. Además, es fundamental la gestión del accidente especialmente en la armonización de las numerosas instancias que pueden llegar a verse involucradas en la respuesta al mismo, algunas de las cuales se citan en la figura, y pueden afectar no sólo a los niveles locales sino que en caso de grandes catástrofes hacen intervenir a todo el Estado. (Figura 14).

Figure 12 shows the system to be employed in the Somport Tunnel and demonstrates the full range of possibilities available today.

Image processing is particularly important for automatic incident detection and detects stoppages, overtaking, speeding vehicles, falling loads, etc. and the development of laser fibre heat detection systems means that it is possible to locate the focus of a fire with great precision. (Figure 13).

These systems then provide the necessary preliminary defence and rapid response over the initial stage after an accident and is aimed at saving and evacuating people from the tunnel.

In the second fire-fighting stage it is essential to rely on the outside resources of the fire stations and even supplementary installations such as sprinklers (contraindicated in the first stage) which help to reduce the temperatures inside the tunnel. Here, accident management is essential particularly in view of the need to coordinate the numerous organizations which may be involved in the response to the same, some of which being indicated in the figure, and which, in the case of a large-scale catastrophe, may not just involve local bodies but the entire country. (Figure 14).

Aunque por inclinación profesional he dedicado la mayor parte del tiempo a hablar sobre las infraestructuras no quiero terminar sin insistir en la responsabilidad compartida entre los cuatro vértices de tetrápodo propuesto por las Naciones Unidas. (Figura 15) hasta el punto que el comité de expertos en Seguridad de Túneles ha recomendado a los organismos políticos la adopción de 43 medidas para mejorar la seguridad que podrán ver en la publicación que con esta charla se ha distribuido (17).

De ellas 10 se refieren a la educación de los usuarios como parte principal en el origen de los accidentes, 16 a medidas de explotación de la obra, 11 a condiciones en las infraestructuras y 6 a controles y equipamientos de los vehículos.

Estas medidas se agrupan en dos bloques que afectan al riesgo: la **prevención de accidentes** que puedan poner en peligro vidas humanas, el medio ambiente y las instalaciones del túnel, y la **reducción de las consecuencias** mediante la autoprotección de los usuarios, la intervención rápida de los servicios de ayuda y del resto de los conductores, etc.

Puesto que en la Unión Europea el transporte por carretera representa el 85% en mercancías y el 93% en pasajeros de todo el transporte terrestre se comprende que estamos ante un tema de la mayor trascendencia no solo social y política, sino también económica.

Se estima, por ejemplo, que las pérdidas (tanto por reparación como por pérdida de ingresos) producidas en el incendio de Mont Blanc superan los 100,000 millones de pesetas.

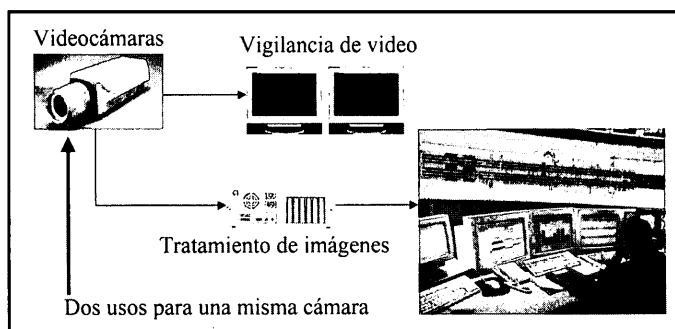
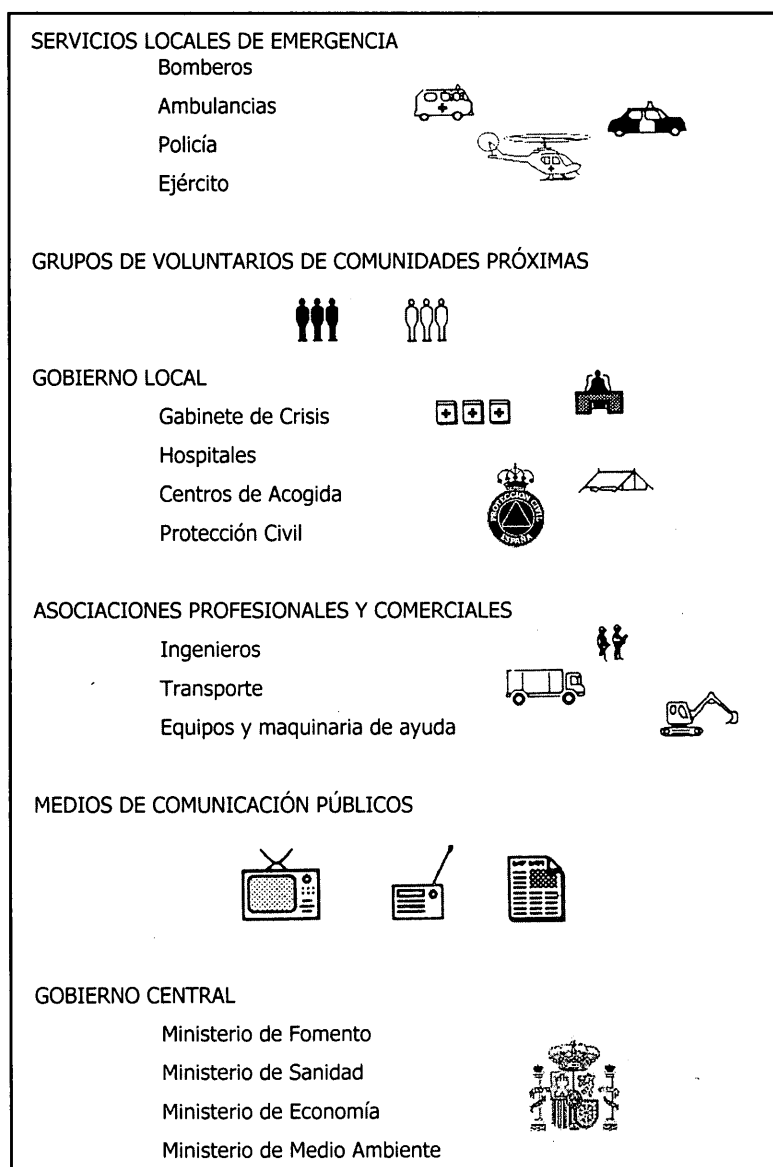


Figura 13.
DAI y CCTV/
Figure 13. IAD
and CCTV.

Figura 14/Figure 14.



As a result of my professional leanings this lecture has largely been dedicated to the infrastructure itself. However, I feel I should not conclude without reiterating the shared responsibility of the four main groups involved as indicated by the ONU. (Figura 15).

The Group of Experts on Safety in Road Tunnels have recommended that political organizations adopt 43 measures to improve safety. You can read up on these measures in the handout that will be made available to you after this lecture (17).

10 of these recommendations refer to the education of road users as these are the main cause of all accidents, while 16 measures refer to tunnel operation, 11 to infrastructures and 6 to vehicle control and equipment.

These measures are made in accordance with two main objectives regarding safety: the first being the **prevention of critical events** which endanger human life, the environment and tunnel installations, and the second being the **reduction of the consequences** of events by ensuring the self-protection of users, the rapid intervention of emergency services and the rest of the road users, etc.

In the European Union, road transport is responsible for 85% of goods and 93% of all passengers transported by land and, as such, this is an area of utmost social, political and economic importance.

By way of example, the losses incurred by the Mont Blanc tunnel (in terms of repair and loss of income) exceeded Ptas 100,000 million.

Quiero poner de manifiesto con ello que se está ante un apasionante problema ingenieril pero también ante un tema de seguridad ciudadana para la que no bastan las grandes inversiones públicas en infraestructuras sino que deben ser completadas con una educación de los individuos que deben aprender a protegerse.

La seguridad pública, al igual que en otros aspectos sociales, depende del desarrollo de una cultura individual de la protección civil para cuya gestión la ingeniería esta llamada a participar.

Como dice un conocido trabalenguas, en los temas de seguridad la labor del ingeniero consiste en evitar que si el futuro pasado fue semejante al pasado pasado, el futuro futuro vuelva a tener los mismos inconvenientes que el futuro pasado.

"Sólo a través del intento para considerar objetivamente el trabajo realizado —es decir, para observarlo críticamente— y para hacerlo mejor mediante la interacción entre nuestras acciones y sus resultados objetivos, podremos trascender nuestros talentos y a nosotros mismos" (16). ■

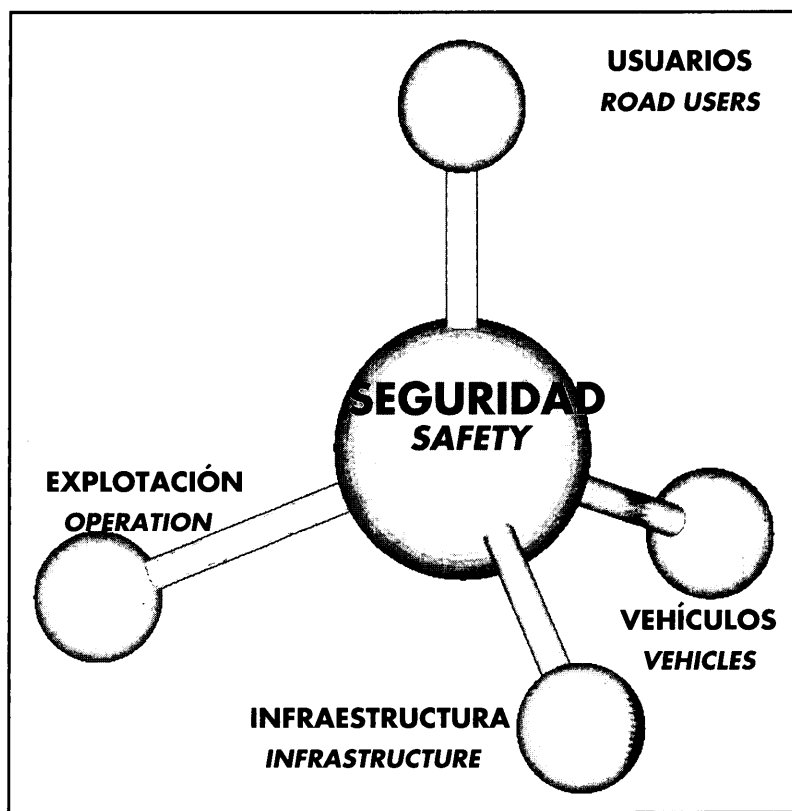


Figura 15/Figure 15.

We are then facing both a tremendous engineering problem as well as one of public safety and, as such, huge public investment in infrastructure is not sufficient in itself as this has to be supplemented by an increased awareness of all road users in order to prevent or restrict the consequences of human error.

As in all other social aspects, public safety depends on the development of an individual culture of civil protection and this is an area where engineering can play an important role.

There is a tongue-twister regarding the role of the engineer in safety matters which states that: if the future past were similar to the past past, the future future would

have the same disadvantages as the future past.

"It is through the attempt to see objectively the work we have done —that is to see it critically— and to do it better, through the interaction between our actions and their objective results, that we can transcend our talents, and ourselves" (16). ■

REFERENCIAS/REFERENCES

- (1)—J. Schneider: "Introduction to Safety and Reliability of Structures". IABSE. Structural Engineering Documents; 1997
- (2)—E. Freyssinet: "Naissance du Béton Précontraint et vues d'Avenir". Travaux ; Junio 1954
- (3)—J. A. Juncá: "El túnel, historia y mito". CICCIP; 1990
- (4)—E. Laso; S. Gómez Lera; E. Alarcón: "Level II reliability approach to tunnel support design". Applied Mathem. Modelling. Vol 19; 1995
- (5)—L. Mochón: "Ventilación de túneles de Carretera". Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid; 1997
- (6)—B. Celada; M. Cabo; M. Fernández: "Algunos aspectos del proyecto de túneles de carretera que inciden en su seguridad" en "Monográfico de Túneles" Ingeopress Nº 07; 2001
- (7)—M. Marec; Conferencia en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid; 1999
- (8)—I. Del Rey; I. Espinosa; E. Alarcón: "Automatización de criterios para actuación de la Ventilación en el túnel del Somport" C.E.M.I.M. (Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica)
- (9)—UN.ECE - Recomendations of the Group of Experts on Safety in Road Tunnels; December 2001
- (10)—D. Lacroix; P. Chasse: "Etude sur maquettes aerauliques des systemes de trappes de desenfumage en tunel routier" CETU ; 1994
- (11)—F. Hacar; A. Abella; I. Gº Arango: "Incendios en túneles". Ed. Paraíso; 1993
- (12)—E. Ivarsson: "Proceedings of the Int'l Conference on Fires in tunnels" Swedish Nat. Test & Research Insitute. Boras; 1994
- (13)—Bechtel/Parsons Brinckerhoff: "Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program. Test Report" Massachusetts Highway Department; 1995
- (14)—R. López Guarga; J. Leal; M. González: "El transporte de Mercancías peligrosas a través de túneles de carretera" CEDEX 2001
- (15)—V. Vilanova; J. R. López Laborda: "Elementos de seguridad en el nuevo túnel de Vielha — Alfonso XIII" Ingeo Press Nº 97. 2001
- (16)—K. Popper "Unended Quest" Fontana 1980
- (17)—E. Alarcón: "La Seguridad de las infraestructuras. El caso de los túneles". Academia de Ingeniería 2002